МАШИНОСТРОЕНИЕ







Научная статья
УДК 692.66:006.354
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-4-61-70

Обоснование периодичности технического обслуживания пассажирских лифтов на основе исследований режимов и условий их эксплуатации

Д. С. Апрышкин[1] ✉, **Г. Ш. Хазанович**[1], **А. В. Отроков**[2]
[1] Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)
[2] Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова (г. Новочеркасск, Российская Федерация)
✉ aprechnik@mail.ru

Аннотация
Введение. Один из факторов безопасной эксплуатации лифтовых систем — техническое обслуживание (ТО). В нормативных документах влияние режима нагружения лифтов на периодичность ТО не учитывается и принимается одинаковым для объектов, работающих в несопоставимых условиях. Это позволяет говорить о необходимости определения рациональных интервалов между ТО для обеспечения безопасной и экономически целесообразной эксплуатации рассматриваемого оборудования. Цель работы — обоснование требуемой периодичности ТО пассажирских лифтов на основе комплексных оценок их технического состояния.
Материалы и методы. Рассмотрен отечественный и зарубежный опыт выбора периодичности ТО на лифтовых установках. Оценены возможности обоснования требуемых интервалов между сервисными работами на основе установленных комплексных оценок технического состояния с учетом условий и режимов эксплуатации. Так как задача не имеет прямого аналитического решения, предложен альтернативный подход. Он основан на гипотезе о взаимосвязи нормативных ресурсных характеристик узлов с режимами и условиями их эксплуатации. Авторы получили необходимые показатели благодаря замерам в многоэтажных жилых домах Ростова-на-Дону, экспериментам и адекватным результатам имитационного моделирования (ИМ).
Результаты исследования. Для решения поставленной задачи разработана структурно-логическая модель. Она состоит из процедур, которые можно подробно описывать и уточнять. Предложена и протестирована методика корректировки периодичности ТО лифтов. Обобщены и сведены в таблицу нормативы ресурса системы по времени и количеству циклов работы за контрольное время. В этом свете описаны редуктор, электродвигатель, тормоз, привод дверей и канаты лифтов в 9-этажных домах при скорости кабины ≤ 1 м/с. Для примера приводятся расчетные нормативные показатели:
– $K_{mср\ норм}$ — коэффициент чистого машинного времени (ЧМВ);
– $n_{ср\ норм}$ — удельное число включений главного привода и механизма дверей.
По результатам вычислений $K_{mср\ норм}$ для электродвигателя — 0,228; $n_{ср\ норм}$ для тормоза — 1,065 в минуту ЧМВ. Для оценки общего уровня загрузки, результирующего технического состояния лифта и его основных узлов предложен единый обобщенный показатель — индекс загруженности W_{Σ}. Он рассчитывается как сумма коэффициентов, отражающих относительный уровень нагрузки на узел лифта. Установлено, что по мере отработки ресурса при сохранении величины временны́х и силовых показателей расчетная периодичность ТО будет сокращаться. Рекомендуемый порог изменения — 5–10 %.
Обсуждение и заключения. Разработанная методика оценки технического состояния лифтовой установки позволяет вывести комплексный индекс, по которому можно судить о необходимости пересмотра нормативных интервалов ТО узлов лифтовой установки. Предложенные процедуры применимы к действующим, монтируемым и проектируемым лифтам. Имитационное моделирование в специально разработанной компьютерной программе определяет основные показатели технического состояния силовых узлов лифта: коэффициент чистого машинного времени, удельное число включений, силовая нагрузка и доля отработанного ресурса. ИМ учитывает также параметры дома: плотность заселенности и случайные внешние и внутренние

воздействия. Методика корректировки периодичности ТО позволяет оперативно планировать и оптимизировать затраты на эксплуатацию лифтового оборудования без потери уровня надежности и безопасности.

Ключевые слова: лифт пассажирский, имитационное моделирование, режим эксплуатации, техническое состояние, показатели загруженности, периодичность технического обслуживания, корректировка межремонтного интервала, коэффициент чистого машинного времени, удельное число включений, силовая нагрузка, доля отработанного ресурса.

Для цитирования. Апрышкин, Д. С. Обоснование периодичности технического обслуживания пассажирских лифтов на основе исследований режимов и условий их эксплуатации / Д. С. Апрышкин, Г. Ш. Хазанович, А. В. Отроков // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 4. — С. 61–70. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-4-61-70

Original article

Substantiation of Passenger Elevators Maintenance Intervals Based on Studies of Modes and Conditions of Their Operation

Dmitriy S. Apryshkin[1] ✉, **Grigoriy Sh. Khazanovich**[1], **Aleksandr V. Otrokov**[2]

[1] Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

[2] M. I. Platov South Russian State Polytechnic University (NPI) (Novocherkassk, Rostov Region, Russian Federation)

✉ aprechnik@mail.ru

Abstract

Introduction. Maintenance is one of the factors of elevator systems safe operation. In regulatory documents, the influence of the loading mode of elevators on the frequency of maintenance is not taken into account and is assumed to be the same for objects operating in disparate conditions. This suggests the need to determine rational intervals between maintenance to ensure safe and economically feasible operation of the equipment in question. The work objective is to substantiate the required maintenance frequency of passenger elevators based on comprehensive assessments of their technical condition.

Materials and Methods. The domestic and foreign experience of choosing the maintenance frequency of elevator units is considered. The paper evaluates the possibilities of substantiating the required maintenance intervals on the basis of established comprehensive assessments of technical condition, taking into account the conditions and operating modes. Since the problem has no direct analytical solution, an alternative approach is proposed. It is based on the hypothesis of the interrelation between the regulatory resource characteristics of assemblies and the modes and conditions of their operation. The authors obtained the necessary indicators through measurements in high-rise apartment buildings in Rostov-on-Don, experiments and adequate simulation modelling.

Results. A structural and logical model has been developed to solve this problem. It consists of procedures that can be described in detail and clarified. A method for adjusting the maintenance frequency of elevators is proposed and tested. The standards of the system resource in terms of time and number of work cycles for the control time are summarized and tabulated. In this light, the gearbox, electric motor, brake, door drive and elevator ropes in 9-storey buildings are described at a cabin speed of ≤ 1 m/s. For example, the paper provides the calculated normative indicators:

– $K_{mср\ норм}$ — coefficient of net machine time (NMT);

– $n_{ср\ норм}$ — specific number of switching-on of the main drive and the door mechanism.

According to the calculation results, $K_{mср\ норм}$ for the electric motor is 0.228; $n_{ср\ норм}$ for the brake is 1.065 per NMT minute. To assess the overall load level, the resulting technical condition of the elevator and its main components, a single generalized indicator is proposed — the load index W_{Σ}. It is calculated as the sum of coefficients reflecting the relative level of load on the elevator assembly. It is established that as the resource is being depleted, while maintaining the value of time and power indicators, the estimated maintenance frequency will decrease. The recommended change threshold is 15–20 %.

Discussion and Conclusion. The developed methodology for assessing the technical condition of the elevator unit allows us to develop a complex index by which we can judge the need to revise the regulatory intervals of the elevator unit assemblies. The proposed procedures are applicable to existing, installed and designed elevators. Simulation modeling in a specially developed computer program determines the main indicators of the technical condition of the power units of the elevator: the coefficient of net machine time, switching-on specific number, the power load and the share of the expired service life. Simulation modelling also takes into account the parameters of the building: population

density and random external and internal influences. The method of adjusting the maintenance frequency allows you to quickly plan and optimize the costs of operating elevator equipment without losing the level of reliability and safety.

Keywords: passenger elevator, simulation modeling, operating mode, technical condition, workload indicators, maintenance frequency, adjustment of the repair interval, net machine time coefficient, switching-on specific number, power load, share of the expired service life.

For citation. Apryshkin D. S., Khazanovich G. Sh., Otrokov A. V. Substantiation of Passenger Elevators Maintenance Intervals Based on Studies of Modes and Conditions of Their Operation. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no. 4, pp. 61−70. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-4-61-70

Введение. От технического состояния пассажирских лифтов зависят их безопасность и эксплуатационные затраты. Каждый цикл функционирования лифтовой системы сопровождается многократным действием усилий для ее пуска и торможения. Пассажирские лифты работают в режиме случайных воздействий по длительности, величине и частоте нагрузок. Для изучения функционирования таких машин широко применяются методы имитационного моделирования (ИМ). Это позволяет получить достоверные результаты при существенно меньших затратах и сроках исследований. Для пассажирских лифтов устанавливаемая периодичность технического обслуживания (ТО) не зависит от условий и режимов эксплуатации. Она определяется нормативными документами[1, 2] и руководствами по эксплуатации[3], принимается одинаковой для всех лифтов и не зависит от этажности дома, плотности заселения, параметров лифтовой установки (грузоподъемность, скорость), а также текущего технического состояния объекта.

Для комплексной оценки текущего технического состояния лифтовой установки в конкретный период используются временны́е показатели: чистое машинное временя (ЧМВ), частота включений, нагрузка и уровень отработки ресурса [1]. Их целесообразно выражать через безразмерные величины: K_m — коэффициент ЧМВ; n — удельное число включений главного привода и механизма дверей, в минуту ЧМВ; $\lambda_{экв}$ — относительная величина силовой нагрузки; K_{RO} — доля отработки нормативного ресурса.

Авторы настоящей работы задействовали два способа, чтобы установить перечисленные показатели, формируемые в процессе функционирования объекта как результат последовательности случайных циклических воздействий:

– регулярные наблюдения — для эксплуатируемых машин [2];

– ИМ — для проектируемых лифтовых установок [3, 4].

В зависимости от сочетания значений указанных случайных показателей изменяются темпы износа оборудования, частота и тяжесть отказов. Поэтому целесообразно корректировать периодичность ТО (в частности, ремонтных и профилактических работ). Однако, как отмечалось выше, нормативы не предусматривают вариативность графика ТО[4]. Возможно, в некоторых случаях это ведет к более высокой, чем необходимо, частоте ТО и, соответственно, к затратам, которых можно было избежать. Более значимая цель корректировок — исключить необоснованное увеличение интервалов между ТО, что связано с рисками преждевременной потери работоспособности и снижения уровня безопасности.

Вопросы динамики лифтового оборудования и повышения его надежности изучали А. И. Антоневич, П. В. Архангельский, Д. П. Волков, Н. А. Лобов, А. В. Мечиев[5], П. И. Чутчиков,[6] Н. А. Шпет и др. [1, 5–10].

В некоторых публикациях [1, 6] и нормативных документах отмечается, что интервалы между плановыми ремонтными воздействиями должны учитывать такие характеристики объектов, как этажность дома, высота подъема, грузоподъемность, плотность заселения. При этом не сообщается, как именно их нужно учитывать, и не приводятся примеры.

Цель данной работы — обоснование требуемой периодичности ТО пассажирских лифтов на основе установленных комплексных оценок технического состояния с учетом условий и режимов их эксплуатации.

[1] ГОСТ Р 55964-2014. Лифты. Общие требования безопасности при эксплуатации / Технический комитет по стандартизации ТК 209. М.: Стандартинформ, 2019. 30 с.

[2] ГОСТ 34303-2017. Лифты. Общие требования к руководству по техническому обслуживанию лифтов // Технический комитет по стандартизации ТК 209. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.

[3] Руководство по эксплуатации. 0621ЭМ.00.00.000РЭ. Лифт пассажирский / ОАО «МЭЛ» // burmistr.ru : [сайт]. URL: https://www.burmistr.ru/upload/forum/fc5/fc50d9b45781d2c11cafb3b2651567f7 (дата обращения: 14.11.2022).

[4] Об организации безопасного использования и содержания лифтов, подъемных платформ для инвалидов, пассажирских конвейеров (движущихся пешеходных дорожек), эскалаторов, за исключением эскалаторов в метрополитенах / Правительство РФ // base.garant.ru : [сайт]. URL: https://base.garant.ru/71707662/ (дата обращения: 03.09.2022).

[5] Мечиев А. В. Разработка путей обеспечения безопасной эксплуатации лифтов : автореф. дис. … канд. тех. наук. М., 2018. 18 с.

[6] Чутчиков П. И. Исследование пассажирских лифтов с целью повышения их эксплуатационной надежности : дис. канд. тех. наук. М., 1973. 148 с.

Материалы и методы. Для реализации цели исследования необходимо, во-первых, научно обосновать взаимосвязи условий, режимов работы лифтовых установок с периодичностью ТО. Затем, базируясь на полученных данных, следует разработать методы определения целесообразной частоты ТО, которая обеспечит поддержание необходимого технического состояния пассажирского лифта.

Отечественные и зарубежные авторы предлагали аналитические методы решения задачи оптимизации периодичности ТО машин, в том числе лифтовых установок. Фундаментальные разработки велись в институте машиноведения АН СССР[7, 8]. Авторы данной статьи предлагают руководствоваться схемой, представленной на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема аналитического решения задачи установления оптимальной периодичности ТО лифтового оборудования

Аналитические решения по обоснованию интервалов проведения ТО базируются на представлении о конкретной функции эволюции системы во времени. Возможны обусловленные трансформации — $x(t)$ или случайные — $\xi(t)$. Решение задачи на основе такого алгоритма требует детальных формализованных представлений о поведении технической системы во времени, что описывается случайной функцией $\xi(t)$. Эти данные неизвестны, если речь идет о лифтовых установках.

В последние 10–15 лет задача оптимизации периодичности ТО лифтов активно обсуждается в Китайской Народной Республике [11–14]. Решение предполагает изменение функции частоты отказов системы путем введения коэффициента корректировки в зависимости от интенсивности отказов. В качестве целевой функции используется математическая модель поддержания технического состояния оборудования, построенная с учетом затрат на ремонт и потерь от простоя лифтового оборудования.

Приведенный выше краткий анализ позволяет утверждать, что у задачи по обоснованию периодичности ТО нет прямого аналитического решения, т. к. лифт функционирует циклично, в режиме стохастического изменения внешних и внутренних воздействий. Поэтому результирующие временны́е и силовые показатели лифта, характеризующие его техническое состояние, представляют собой случайные величины с заранее неизвестными законами распределения.

В качестве альтернативы прямому использованию показателей надежности для определения требуемой периодичности ТО в настоящей работе принята гипотеза о взаимосвязи нормативных ресурсных показателей отдельных узлов и всей установки с вероятностными характеристиками режимов и условиями эксплуатации. Авторы интегрировали эту информацию с анализом экспериментальных данных и адекватных им результатов ИМ [3, 4]. Такой подход позволил определить характеристики нагрузочных режимов и условий эксплуатации лифтов, а также разработать методы и программы ИМ[9] для их воспроизведения. Это дает возможность сформулировать задачу корректировки нормативной периодичности ТО. Она основывается на утверждении, что упомянутые вероятностные показатели нагруженности лифта определяют его техническое состояние. Для конкретных условий решение задачи о необходимой периодичности ТО будет учитывать данные нормативных документов, результаты наблюдений или ИМ (рис. 2).

[7] Математические методы в теории надежности и эффективности // Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. Т. 2. / Под ред. Б. В. Гнеденко. М.: Машиностроение, 1987. С. 165–180.
[8] Эксплуатация и ремонт // Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. Т. 8. / Под ред. В. И. Кузнецова, Е. Ю. Барзиловича. М.: Машиностроение, 1990. С. 112–146.
[9] Имитационное моделирование режимных характеристик пассажирских лифтов : св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 202661811 Рос. Федерация / А. В. Отроков, Г. Ш. Хазанович, Д. С. Апрышкин ; ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет». Заявл. 16.06.2022 ; опубл. 27.06.2022, Бюл. № 7.



Рис. 2. Структурная схема приближенного решения задачи по корректировке периодичности ТО лифтовых установок на основе вероятностных показателей их технического состояния

На рис. 2 обозначены процедуры, необходимые для решения задачи по формированию периодичности ТО лифтовой установки на основе комплексных показателей технического состояния объекта. Приведем их краткую характеристику.

1) Описание объекта, условий и режима эксплуатации для оценки его технического состояния и корректировки периодичности ТО. Речь идет о лифтовой установке с параметрами: R, $Q_{п}$, v, $N_{дв}$, $i_{ред}$, $r_{КВШ}$ (грузоподъемность, масса противовеса, скорость кабины, мощность двигателя, передаточное отношение редуктора, радиус канатоведущего шкива) и др. в жилом доме с параметрами H, N, $h_{эт}$, Z (высота подъема, этажность, межэтажное расстояние, число жителей). Режим эксплуатации: время суток, чередование циклов по видам, функция загрузки кабины и др.

2) Определение нормативных ресурсов узлов согласно ГОСТам и другим нормативным документам: по чистому времени эксплуатации (τ), по числу включений (n), по номинальной длительной нагрузке (M), по сроку службы до капитального ремонта или замены — T (для двигателя, редуктора, тормоза, дверей, канатов и других узлов).

3) Обоснование номенклатуры и числа независимых относительных показателей для оценки технического состояния объекта (K_i).

4) Установление вероятностных показателей для оценки расчетного (фактического) технического состояния объекта на основе ИМ или регулярных наблюдений ($K_{mф}$, $n_{ф}$, $\lambda_{ф}$).

5) Обоснование формальных процедур для установления комплексного показателя, оценивающего нормативное техническое состояние объекта — $W_{\Sigma.норм}$.

6) Обоснование формальных процедур для установления комплексного показателя-индекса, оценивающего расчетное (фактическое) техническое состояние объекта — $W_{\Sigma расч}$.

7) Оценка соотношения нормативного и фактического показателей технического состояния основных узлов лифтовой установки.

Итоги этих процедур позволяют сформулировать рекомендации по корректировке периодичности ТО ($K_{кор}$).

Основные показатели, характеризующие работоспособность и долговечность объекта и его отдельных узлов, — это нормативы, устанавливаемые заводом-изготовителем или профильными документами. В общем случае для каждого узла лифта должны приводиться следующие предельные ресурсные характеристики до капитального ремонта или замены: чистое время эксплуатации τ, число включений (пусков-торможений) n, номинальная длительная нагрузка M, срок службы T. Номенклатура ресурсных показателей может быть различной для узлов, эксплуатирующихся в разных условиях.

Согласно нормативным документам[10] фактическое техническое состояние оценивается по результатам непосредственного контроля, диагностики и мониторинга объекта на основе сравнения зафиксированных

---

[10] ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. М.: Стандартинформ, 2016. 31 с.

показателей с заявленными в нормативно-технической документации. Для выбора косвенных показателей технического состояния лифта и его узлов нужен иной подход. Главные требования: косвенные показатели должны быть независимыми и полнее характеризовать техническое состояние объекта. В нашем случае это коэффициент чистого машинного времени, удельное число включений главного привода и механизма дверей, уровень силовой нагрузки и степень отработки нормативного ресурса, то есть K_m, n, $\lambda_{экв}$ и K_{RO}. Все они устанавливаются путем непосредственных наблюдений за группой лифтов или на основе ИМ. Эти показатели приняты как базовые по итогам анализа их взаимной независимости и достаточности для косвенной оценки технического состояния лифта. Они описывают основные характеристики нагруженности объекта. С каждым из них можно соотнести аналог, зафиксированный в паспорте лифта или нормативном документе и представленный в ином виде, размерности. Так, например, в ГОСТе на электродвигатели указаны нормативные показатели: чистое время работы — 30 тыс. часов, срок службы — 15 лет. Условный нормативный коэффициент машинного времени электродвигателя определяется расчетом.

Результаты исследования. Авторы обосновали подход к решению вопроса о корректировке интервалов ТО лифтов. Методика базируется на четырех показателях: K_m, n, $\lambda_{экв}$ и K_{RO}.

В соответствии с последовательностью процедур (см. рис. 2) сначала уточняются нормативные ресурсы основных узлов лифта. Эти данные задействуют для определения соответствующих значений временны́х параметров: $K_{m\ норм}$, $n_{норм}$. По ГОСТу Р 55964-2014[11] лифт должен служить 25 лет. Его узлы и механизмы — от 5 до 15 лет.

Размерностями ресурсного показателя узла могут быть:

– продолжительность работы оборудования в часах (ЧМВ);

– количество включений в единицу времени или за весь период эксплуатации.

Так, например, согласно ГОСТу 31592-2012[12] для червячных редукторов, применяемых в лифтовом оборудовании, ресурс до капитального ремонта — не менее 10 тыс. часов. Это значение можно принять за минимальный нормативный ресурс, который должен обеспечиваться за весь установленный срок службы редуктора (12,5 лет). Для электродвигателей установлен срок службы 15 лет. При этом согласно пункту 5.1.4 ГОСТа 31606-2012[13] ресурс до капитального ремонта — не менее 30 тыс. часов.

Другой источник для определения нормативного числа включений — ГОСТ 59155-2020[14]. Он устанавливает типовые эксплуатационные режимы лифтов. Для различных по грузоподъемности и скорости лифтов допустимое число включений — 120–180 в час. Так, для лифтов в 9-этажках с номинальной скоростью 0,67–1,0 м/с число включений $n_{норм}$ не должно превосходить 120 час$^{-1}$ или 2 мин$^{-1}$. Включения двигателя лифта и всех кинематически связанных с ним узлов: редуктора, тормоза, канатоведущего шкива (КВШ), канатов — происходят только в машинное время, поэтому требование $n_{норм} \leq 2$ вкл./мин должно относиться к ЧМВ. То есть для всех этих узлов в лифтах 9-этажных домов базовое значение числа включений для двигателя, тормоза, редуктора, КВШ должно приниматься $n_{норм} = 2$ вкл./(мин ЧМВ).

В таблице 1 обобщены нормативы ресурса по времени, количеству циклов работы узлов и агрегатов за определенный контрольный отрезок времени. На основе этих показателей рассчитаны нормативные силовые и временны́е параметры работы узлов лифтовой установки. Для примера приводятся расчетные нормативные показатели $K_{m ср\ норм}$ и $n_{ср\ норм}$ лифтов 9-этажных домов со скоростью кабины ≤ 1 м/с.

Таблица 1

Нормативные ресурсы и временны́е параметры работы узлов лифтовой установки

№ п/п	Узел или агрегат лифта	Норматив (показатель/ за период)		Расчетные нормативные временны́е параметры		Номинальная нагрузка
		в часах ЧМВ	в количестве включений	$K_{m\ ср\ норм}$	$n_{ср.\ норм}$	$M_{ном}$, $H{\cdot}м$ или $P_{ном}$, H
1	Редуктор	10^4/12,5 лет	–	0,09	2	По паспорту оборудования
2	Электродвигатель	$3{\cdot}10^4$/15 лет	–	0,23	2	

[11] ГОСТ Р 55964-2014. Лифты. Общие требования безопасности при эксплуатации / Технический комитет по стандартизации ТК 209. М.: Стандартинформ, 2019. 30 с.
[12] ГОСТ 31592-2012. Редукторы общемашиностроительного применения. Общие технические условия / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М.: Стандартинформ, 2014. 22 с.
[13] ГОСТ 31606-2012. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные мощностью от 0,12 до 400 кВт включительно. Общие технические требования / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М.: Стандартинформ, 2013. 22 с.
[14] ГОСТ Р 59155-2020. Лифты. Технические условия / Технический комитет по стандартизации ТК 209. М.: Стандартинформ, 2020. 15 с.

3	Тормоз	–	7×10⁶/12,5 лет	0,77	1,07	
4	Привод дверей	–	400/1 час	28,2	6,7	
			2/1(мин ЧМВ)	0,47	4	
5	Канаты	–	6×10⁵/1 год	0,3	1,14	По ГОСТу 56943-2016

Контрольный отрезок времени устанавливается в нормативных документах и паспортах оборудования. Это может быть:
— полный срок службы до замены или капитального ремонта,
— конкретное значение (год, час, минута).

Расчетный нормативный параметр $K_{mср\ норм}$ определяется как частное от деления чистого годового времени работы узла на число часов в году. Например, для электродвигателя:

$$K_{mср\ норм} = (30 \cdot 10^3/15)/(365 \cdot 24) = 0{,}228.$$

Аналогично определяется нормативное число включений — 1/(мин ЧМВ). В качестве примера приведем включения в минуту для тормоза, ЧМВ:

$$n_{ср\ норм} = (7 \cdot 10^6/12{,}5)/(365 \cdot 24 \cdot 60) = 1{,}065.$$

Для привода дверей $n_{ср.норм}$ выбирается минимальным из двух вариантов:
1) согласно паспорту лифта — не менее 400 1/час или 6,7 1/(мин ЧМВ);
2) согласно ГОСТу — 2 1/(мин ЧМВ).

На одно включение привода лифта приходится два включения привода дверей, поэтому $n_{ср\ норм}$ = 4 1/(мин ЧМВ). Для канатов нормативное годовое количество включений (600 1/год) приводится в инструкции по ТО стальных канатов[15].

Найдем коэффициенты, отражающие относительный уровень нагрузки на узел лифта. Они определяются как отношения:
— расчетных или экспериментальных значений временны́х и силовых показателей к нормативным,
— отработанного ресурса к полному нормативному ресурсу.

$$K_1 = \frac{K_{m.ср.мод}}{K_{m.ср.норм}}, K_2 = \frac{n_{ср.мод}}{n_{ср.норм}}, K_3 = \frac{M_{экв}}{M_{ном}} = \lambda_{экв}, K_{RO} = \frac{P_{отр.р}}{P_{норм.р}}.$$

Для оценки общего уровня загрузки, результирующего технического состояния лифта и его основных узлов предложен единый обобщенный показатель — индекс загруженности W_Σ. Он должен представлять некоторую комбинацию исходных относительных показателей K_i. Согласно рекомендациям квалиметрии[16] при формировании единого обобщенного показателя-индекса применили принцип суммирования (или суперпозиции) с весовыми коэффициентами, равными единице. Учитывается обоснованное выше допущение: в данной задаче признаются независимыми и равноценными факторы, характеризующие техническое состояние и нагруженность лифтовой системы. Принцип суперпозиции справедлив для систем, которые описываются линейными уравнениями.

Итак, определим единый условный показатель-индекс нагруженности лифта W_Σ:

$$W_\Sigma = K_1 + K_2 + K_3 + K_{RO}.$$

Для каждого силового узла необходимо вычислить комбинацию четырех коэффициентов: K_1, K_2, K_3, K_4. Это нужно для сравнительной оценки уровней загруженности узлов или лифтов. Если таких данных нет в нормативных документах, то в качестве базовых необходимо принимать величины, соответствующие средним значениям группы лифтов с близкими параметрами, работающих в схожих условиях.

Суммирование относительных коэффициентов влияния различных режимных, временны́х факторов и состояния отработки ресурса предполагает, что конечный результат рассматривается по принципу: чем меньше значение W_Σ, тем менее напряженным будет режим эксплуатации данного узла лифтовой установки. По методике суммирования K_1, K_2, K_3 и K_{RO} нормальным, не перегруженным техническим состоянием лифта нужно считать такое, при котором сумма коэффициентов не превышает 4.

Узлы лифта делятся на группы:

1) работающие непрерывно в течение ЧМВ (двигатель, редуктор, КВШ и канаты);

2) работающие импульсно, например двери лифта.

Для 1-й группы расчет W_Σ нужно вести по сумме 4 коэффициентов, для 2-й — 2 коэффициентов, исключив K_m и $M_{экв}$. Соответственно изменится и нормативная сумма W_Σ: для 1-й группы $W_\Sigma = 4$, для 2-й

[15] Стальные канаты Gustav Wolf. Инструкция по эксплуатации / Реватор // revator.ru : [сайт]. URL: https://revator.ru/upload/docs/Rope_inst_GW_v4.pdf (дата обращения: 03.09 2022).
[16] Чекмарев А. Н. Квалиметрия и управление качеством. Ч. 1 . Квалиметрия / Самара: Изд-во СГАУ, 2010. 172 с.

$W_{\Sigma} = 2$. Возможен и вариант $W_{\Sigma} = 3$, при котором учитывается нагрузка двух видов и уровень отработки ресурса.

На рис. 3 представлена структурная схема методики определения скорректированной периодичности ТО лифтового оборудования на основе нормативных документов, результатов ИМ силовых и временны́х показателей работы.



Рис. 3. Структурная схема принятия решения о корректировании периодичности ТО лифтового оборудования

Для примера в таблице 2 приведены результаты сравнительной оценки нагруженности узлов и коэффициенты корректирования периодичности ТО, выполненные в соответствии с изложенными методическими положениями для лифтов, отработавших 5 лет.

Таблица 2

Результаты исследования лифтовых установок в двух 9-этажных домах Ростова-на-Дону: оценка нагруженности узлов и корректировка интервалов между ТО*

Узел	$K_{m/мод}$/ $K_{m.норм}$	K_1	$n_{мод}/n_{норм}$, вкл./мин ЧМВ	K_2	Нагрузка, $M_{мод}$/ $M_{ном}$, Н·м* или $P_{мод}/P_{ном}$, Н**	K_3	$P_{RO\ расч}$/ $P_{RO.норм}$, лет	K_{RO}	$W_{\Sigma расч}$	КТО = $W_{\Sigma расч}$/ $W_{\Sigma норм}$
ул. Капустина, 14										
Двигатель	0,187/0,23	0,81	2,89/2	1,46	16,73/30,172*	0,55	5/15	0,33	3,15	0,79
Редуктор	0,187/0,09	2,07	2,89/2	1,46	216,3/1114*	0,19	5/12,5	0,4	4,12	1,03
Тормоз	0,813/0,77	1,06	2,89/1,07	2,7	478/960*	0,5	5/12,5	0,4	4,66	1,17
Канаты	0,187/0,30	0,62	2,89/1,14	2,54	11,70/30,17**	0,4	5/5	1	4,56	1,14
Дверь	0,337/0,47	0,72	2,89/4	0,72	2,2/2,2*	1	5/6	0,83	3,27	0,82
ул. Орбитальная, 68										
Двигатель	0,05/0,23	0,22	2,96/2	1,48	16,73/30,17*	0,55	5/15	0,33	2,58	0,65
Редуктор	0,05/0,09	0,06	2,96/2	1,48	216,3/1114*	0,19	5/12,5	0,4	2,13	0,53
Тормоз	0,95/0,77	1,23	2,96/1,07	2,8	478/960*	0,5	5/12,5	0,4	4,47	1,12
Канаты	0,05/0,30	0,17	2,96/1,14	2,6	11,70/30,17**	0,4	5/5	1	4,17	1,04
Дверь	0,345/0,47	0,73	2,96/4	0,74	2,2/2,2*	1	5/6	0,83	3,30	0,83
КТО — коэффициенты корректирования периодичности ТО. При 0,95 ≤ КТО ≤ 1,05 корректировка не требуется. При КТО < 0,95 — периодичность ТО корректируется в сторону увеличения на 1– КТО. При КТО > 1,05 периодичность ТО корректируется в сторону уменьшения на $\lvert 1 - КТО \rvert$.										

По мере отработки ресурса при сохранении величины временны́х и силовых показателей расчетная периодичность ТО будет сокращаться для обеспечения необходимого уровня технического состояния оборудования. Рассмотрим для примера редуктор лифта в доме на Капустина, 14. Учтем, что $W_{\Sigma норм} = 4$. Если K_{RO} возрастет с 0,4 до 0,9, то отношение $W_{\Sigma\ расч}/W_{\Sigma\ норм}$ увеличится с 1,03 до 1,15. Окончательное решение об изменении интервалов ТО лифта в зависимости от приращения КТО принимает сервисная организация. Рекомендуемый порог изменения КТО — 5–10 %.

Обсуждение и заключения. Разработанные программы ИМ режимов работы пассажирских лифтов и методика корректировки периодичности ТО позволяют прогнозировать реальную нагруженность узлов лифтовых установок на протяжении длительного периода эксплуатации с учетом этажности, заселенности здания и технических характеристик лифта. Это дает возможность установить прогнозную скорость отработки нормативного ресурса каждой лифтовой установки и определить для нее межсервисные интервалы, обеспечивающие поддержание узлов лифта в работоспособном состоянии на протяжении всего срока службы.

Прикладная ценность описанных в статье итогов научных изысканий обусловлена тем, что нормативные документы, требуя заявленной периодичности ТО, не учитывают режимы и условия эксплуатации лифтовых установок.

Характеристики режимов и условий эксплуатации для лифтовых установок определяются по данным, полученным на основе ИМ и проверенным на адекватность в ходе диспетчерского мониторинга. Речь идет о таких показателях, как чистое машинное время работы, удельное количество включений, уровень силовой нагрузки привода и кинематически связанных с ним узлов, а также величина отработки установленного ресурса. До введения лифта в эксплуатацию можно построить график ТО в созданной авторами программе «ИМ режимных характеристик пассажирского лифта».

Список литературы

1. Волков, Д. П. Лифты / Д. П. Волков. — Москва : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2009. — 463 с.

2. Хазанович, Г. Ш. Оценка нагруженности силовых элементов пассажирского лифта по результатам регулярного мониторинга / Г. Ш. Хазанович, Д. С. Апрышкин // Безопасность техногенных и природных систем. — 2020. — № 1. — С. 32–42.

3. Khazanovich, G. S. Computer Modeling of Dynamic Processes of Passenger Elevators at Casual External Influence / G. S. Khazanovich, D. S. Aprishkin, A. Otrokov // In: Proceedings of the 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 2018. — P. 1–6. 10.1109/FarEastCon.2018.8602877

4. Апрышкин, Д. С. Методика и алгоритм имитационного моделирования режимов работы пассажирского лифта / Д. С. Апрышкин, Г. Ш. Хазанович // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. — 2020. — № 3 (33). — С. 84–92.

5. Антоневич, А. И. Анализ современных конструкций лифтов и тенденций их развития / А. И. Антоневич // Вестник Белорусского национального технического университета. — 2010. — № 5. — С. 18–31. — URL: http://rep.bntu.by/handle/data/1408 (дата обращения 09.09.2022).

6. Архангельский, Г. Г. Эксплуатация и расчет лифтовых установок / Г. Г. Архангельский, А. А. Вайнсон, А. А. Ионов. — Москва : МИСИ, 2010. — 328 с.

7. Лобов, Н. А. Пассажирские лифты / Н. А. Лобов. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. — 183 с.

8. Шпет, Н. А. Исследование отказов пассажирских лифтов по данным эксплуатации / Н. А. Шпет, О. П. Муравьев // Известия Томского политехнического университета. — 2013. — Т. 323, № 4. — С. 123–125.

9. Кудрявцев, Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Е. М. Кудрявцев. — Москва : ДМК Пресс, 2014. — 320 с.

10. Optimization Models for Improving Periodic Maintenance Schedules by Utilizing Opportunities / T. Almgren, N. Andréasson, M. Palmgren [et al.] // In: Proceedings of the 4th Production and Operations Management World Conference , 2012, Amsterdam, the Netherlands. — Researchgate : [сайт]. — URL: https://www.researchgate.net/publication/264888547_Optimization_models_for_improving_periodic_maintenance_schedules_by_utilizing_opportunities (дата обращения: 21.11.2022).

11. Liu, G. S. Three M-Failure Group Maintenance Models for M/M/N Unreliable Queuing Service Systems / G. S. Liu // Computers & Industrial Engineering. — 2012. — Vol. 62, № 4. — P. 1011–1024. https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.12.028.

12. Lim, J. H. Optimal Periodic Preventive Maintenance Schedules with Improvement Factors Depending on Number of Preventive Maintenances / J. H. Lim, H. P. Dong // Asia-Pacific Journal of Operational Research. — 2007. — Vol. 24, № 01. — P. 111–124. https://doi.org/10.1142/S0217595907001139

13. Liu, H. Research on Preventive Maintenance Strategy of Elevator Equipment / H. Liu, J. Wu // Open Journal of Social Sciences. — 2018. — Vol. 06, № 01. — P. 165–174. http://dx.doi.org/10.4236/jss.2018.61012

14. Li, R. Preventive Maintenance Interval Optimization for Continuous Multistate Systems / R. Li, X. Zhang // Mathematical Problems in Engineering. — 2020. — Vol. 1. — P. 1–10. 10.1155/2020/2942940

Поступила в редакцию 10.09.2022.
Поступила после рецензирования 21.10.2022.
Принята к публикации 21.10.2022.

Об авторах:

Апрышкин Дмитрий Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, aprechnik@mail.ru

Хазанович Григорий Шнеерович, главный научный сотрудник Центра научных компетенций Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID, ORCID, hazanovich@mail.ru

Отроков Александр Васильевич, доцент кафедры «Технология горного производства» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М. И. Платова (346428, РФ, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), кандидат технических наук, доцент, ScopusID, ORCID, oav-71@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

Д. С. Апрышкин — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, участие в разработке алгоритмов и программ имитационного моделирования, проведение расчетов, подготовка текста, формулирование выводов. Г. Ш. Хазанович — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов. А. В. Отроков — участие в разработке программного обеспечения, формулирование результатов имитационного моделирования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.